

І.І. Павленко, проф., д-р техн. наук, М.В. Сторожук, доц., канд. техн. наук,  
О.Б. Чайковський, доц., канд. техн. наук.

Кіровоградський національний технічний університет

## Оптимальність параметрів ходових систем сільськогосподарських машин

В статті розглянуто аналіз використання ймовірнісних критеріїв при розрахунку оптимальності коливальних параметрів мобільних сільськогосподарських машин.  
**коливання, цільова функція, квантіль, ймовірність, комбайн**

В процесі роботи зернозбиральні комбайни повинні виконувати технологічний процес збирання при мінімальних втратах урожаю, забезпечувати плавність ходу машини для створення комфортних умов праці механізатора, при цьому витрати енергії на пересування машини повинні бути мінімальними.

При оптимізації коливальних параметрів таких мобільних сільськогосподарських машин (зернозбиральних, силосозбиральних комбайнів, тракторів) використовуються інтегральні критерії [1], критерії ефективності [2], а також ймовірнісні критерії [3].

Розсіювання коливальних параметрів машин і умов експлуатації привело до необхідності розгляду критеріїв оптимальності ходової системи комбайна в ймовірнісному аспекті і представити критерій оптимальності у вигляді мінімумів для ймовірностей:

$$\begin{aligned} P\{D_R > [D_R]\} &= \min; \\ P\{D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}]\} &= \min; \\ P\{D_{\varphi} > [D_{\varphi}]\} &= \min. \end{aligned} \quad (1)$$

Тут  $D_{\ddot{z}} = \sum_{Ri}^r \sigma_{Ri}^2$  - цільова функція плавності ходу, або дисперсія вертикальних

прискорень корпусу молотарки;  $D_{\varphi} = \sum_{\varphi i}^r c_{\varphi i}^2 \varepsilon_i^2$  - цільова функція енергетики, або

дисперсія крутного моменту, в приводі ходової системи;  $D_R = \sum_{Ri}^r \sigma_{Ri}^2$  - цільова

функція агротехніки, або дисперсія навантажень на башмаках жнивarki;  $[D_R], [D_{\ddot{z}}], [D_{\varphi}]$  - допустимі значення цільових функцій.

Загальний критерій оптимальності має вигляд:

$$P\{D_R > [D_R]; D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}]; D_{\varphi} > [D_{\varphi}]\} = \min. \quad (2)$$

Для вирішення завдання локального оптимуму представимо цільову функцію плавності ходу, наприклад, у вигляді елементарної випадкової функції, що є добутком невідповідної функції  $\overline{D}_{\ddot{z}}$  на випадкову величину  $\varepsilon$ :

$$D_{\ddot{z}} = \overline{D}_{\ddot{z}} \cdot \varepsilon, \quad (3)$$

де  $\overline{D_{\ddot{z}}}$  - математичне очікування цільової функції;

$\mathcal{E} = 1 + u_p V_{\ddot{z}}$  - нормально розподілена випадкова величина, що має середнє значення, рівне одиниці, і коефіцієнт варіації, рівний  $V_{\ddot{z}}$  (вертикальних прискорень молотарки).

Параметри статистичних розподілів вертикальних прискорень зернозбиральних комбайнів і самохідних шасі приведені [3], по цих розподілах і значенні цільової функції, що допускається, визначали квантілі нормального розподілу

$$u_p = \frac{1}{V_{\ddot{z}}} \left\{ \frac{[D_{\ddot{z}}]}{\overline{D_{\ddot{z}}}} - 1 \right\} \quad (4)$$

і завдання оптимізації було представлено у вигляді вибору коливальних параметрів молотарки, при яких  $u_p = \max$ .

По відомих таблицях [4] знаходили ймовірність  $P(u_p = \max)$ , що відповідає виконанню умови

$$P\{D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}]\} = \min. \quad (5)$$

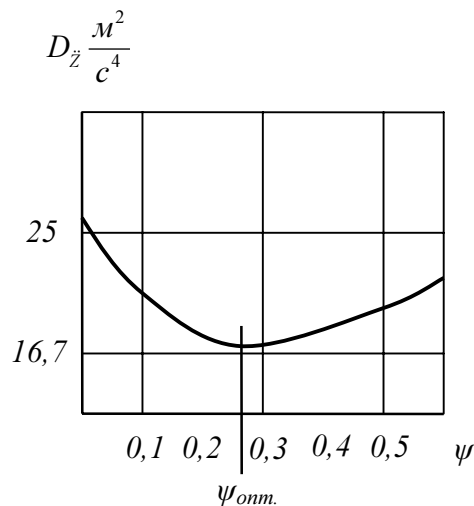
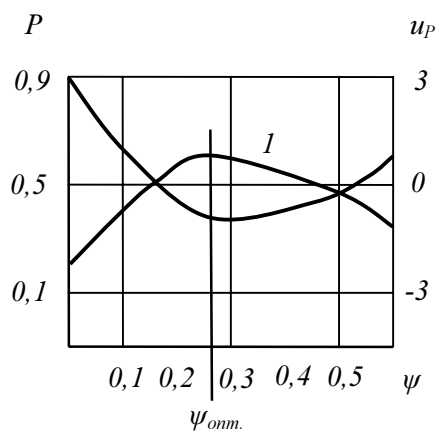


Рисунок 1 – Графік цільової функції

Розглянемо приклади використання ймовірнісних критеріїв при розрахунках оптимальності коливальних параметрів ходових систем комбайнів «Славутич».

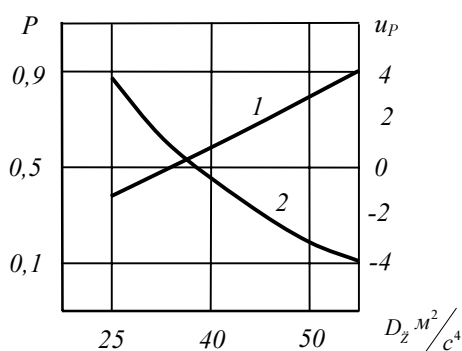
На рисунку 1 представлений графік цільової функції  $D_{\ddot{z}}$  для молотарки комбайна при роботі машини в транспортному режимі. Параметром, що оптимізується, тут є відносний коефіцієнт загасання вертикальних коливань молотарки  $\psi$ , обумовлених втратою енергії коливань в шинах ходових коліс. На графіку відмічено значення  $\psi_{opt}$ .

Задаємося тепер  $[D_{\ddot{z}}] = 4 \frac{m^2}{cm^4}$  з умови  $\ddot{z}_{max} \leq 0,2q$  згідно санітарних норм для операторів на обмеження вібрацій на робочому місці механізатора і перейдемо до ймовірнісного критерію (5). З графіка (рисунок 2) крім значень  $\psi_{opt}$  було встановлено, що ймовірність перевищення заданого рівня вібрації  $1 - (u_p = \max) = 0,38$ . Тому оптимізація тільки по  $\psi$  є неефективною, оскільки в даному випадку при  $\psi = \psi_{opt}$  у 38% зі всього парку машин  $D_{\ddot{z}} > [D_{\ddot{z}}]$ , що по умові дорівнює  $\ddot{z}_{max} > q$  і не відповідає умові на обмеження вібрацій робочого місця машини.



1 - квантіль  $u_p$ ; 2 - ймовірність  $1 - P(u_p)$

Рисунок 2 - До визначення локального оптимуму



1 - квантіль  $u_p$ ; 2 - ймовірність  $1 - P(u_p)$

Рисунок 3 - До визначення локального оптимуму з обмеженнями

На рисунку 3 представлені результати розрахунків, пов'язані з оптимізацією жорсткості шин ходових коліс комбайна. У цьому випадку має місце завдання знаходження локального оптимуму з обмеженнями.

Висновки. Використання ймовірнісного критерію оптимізації для такого завдання дозволило встановити, що при зниженні жорсткості шин ходових коліс на  $5 \times 10^3$  Н/м ймовірність перевищення  $D_z$  знижується від  $1 - P(u_p) = 0,0338$  до  $1 - P(u_p) = 0,1$ . Таким чином, вірогідність порушення вимог ISO 9000 істотно зменшується.

## Список літератури

1. Смирнов Н.В. Курс теории вероятности и математической статистики. / Н.В.Смирнов, И.В.Думин-Барковский. - М.: Наука, 1965. - 341 с.
2. Анилович В.Я. Статичная теория поддресоривания машино-тракторных агрегатов: автореф. дис. д-ра наук. - М., 1967.- 232 с.
3. Гриньков Ю.В. Основные принципы инженерного расчета пружных колебаний конструкций зерноуборочных комбайнов: дис. д-ра наук. - Волгоград, 1971.

В статье рассмотрен анализ использования вероятностных критериев при расчете оптимальности колебательных параметров мобильных сельскохозяйственных машин.

The article gives the analysis of possible criteria of application when accounting vibratory parameters mobile agricultural machines optimization.